

明細書

平板型マイクロレンズとその製造方法

技術分野

5 本発明は、種々の光学分野で利用され得る平板型マイクロレンズとその製造方法の改善に関するものである。

背景技術

平板型マイクロレンズは、種々の光学分野において利用され得る。例えば、光通信分野において、LD（レーザダイオード）と光ファイバとの間の光結合のための集光レンズとして好ましく用いられ得る。また、プロジェクタ中の集光用レンズアレイとして、平板型マイクロレンズアレイが好ましく用いられ得る。

図5Aは従来の平板型マイクロレンズアレイの一例を模式的な一部破断斜視図で示しており、図5Bは図5Aのレンズアレイの光学的機能を模式的な断面図で図解している（「マイクロレンズ（アレイ）の超精密加工と量産化技術」技術情報協会出版、2003年4月28日、第20-21頁、および第71-81頁参照）。

この平板型マイクロレンズアレイ1は、均質な薄板ガラス1aの一方の主面に沿って、アレイ状に配列された複数の高屈折率領域1bを含んでいる。それらの高屈折率領域1bの各々は、薄板ガラス1a内において概略半球状の形状（例えば、 $200\mu m$ 径で、深さが $80\mu m$ ）を有している。したがって、図5Bに図解されているように、各高屈折率領域1bは一つの小さな凸レンズとして作用し、そこに入射する平行光2は焦点Fに集光される。

図6AからCは、図5の平板型マイクロレンズアレイの作製方法の一例を模式的な断面図で図解している。図6Aにおいて、ガラス基板1a上にアレイ状に配列された小孔3aを有する金属レジスト層3が、フォトリソグラフィとエッチングによって形成される。図6Bにおいて、周知のイオン交換法によって、すなわち対向する複数の矢印4によって表されているようなイオン交換によって、レジスト層3の小孔3aを介して高屈折率領域1bが形成される。このとき、イオン交換はイオンの等方的熱拡散によって進行するので、高屈折率領域1bは、ガラ

ス基板 1 a 内において自然に概略半球状に形成される。もちろん、金属レジスト層 3 は、熱拡散温度に耐える耐熱性を有するとともに、イオンの通過を阻止する機能を有していなければならない。そして、図 6 Cにおいて、レジスト層 3 が除去されて、平板型マイクロレンズアレイ 1 が得られる。

5 なお、このようなマイクロレンズは光の屈折現象を利用しており、屈折型マイクロレンズである。また、このように透光性基板内に屈折率分布を有するレンズは、GRIN (G R a d e d I N d e x) レンズと呼ばれることがある。

ところで、従来からマイクロレンズとして屈折型マイクロレンズがおもに用いられているが、近年では光学システムのサイズ、重量、コストなどを低減させる
10 観点から、回折型のマイクロレンズが注目されている。回折型マイクロレンズは、光の回折現象を利用してレンズ機能を生じさせるものである。回折型マイクロレンズは、主としてレリーフ型（または膜厚変調型）マイクロレンズと屈折率変調型マイクロレンズに大別される。レリーフ型マイクロレンズでは、典型的には透光性基板の表面に同心円状の複数の微細なリング状溝が形成されており、それら
15 の溝の深さ(すなわち基板の厚さ)が周期的に変化させられた構造を有している。他方屈折率変調型マイクロレンズは、典型的には平板状基板が同心円状の複数の微細な帯状リング領域に分けられており、それらの領域の屈折率が周期的に変化させられた構造を有している。

透光性基板の厚さの周期的变化や屈折率の周期的变化は、その基板を通過する
20 光の位相を周期的に变化させ、回折格子と同様に光の回折効果を生じさせる。そして、回折格子の格子ピッチが小さくなるにしたがって、回折格子を通過する光の回折角が大きくなる。したがって、同心円の中心から周縁に至るにしたがって同心円状回折格子のピッチを減少させることによって、その回折格子を通過する光を凸レンズのように集光することができる。

25 図 7 は、従来のレリーフ型マイクロレンズの作製方法の一例を模式的な断面図で図解している。また、図 8 は、図 7 の作製方法において用いられる露光マスクを模式的な平面図で示している。

図 7 Aにおいて、Si 基板 1 1 上にポジ型フォトレジスト層 1 2 を形成し、第 1 のフォトマスク 1 3 を介して紫外光 1 4 a が照射される。この第 1 のフォトマ

スク 1 3 は、図 8 A に示されているような同心円状の帯状リングパターンを有し、リング間のピッチは同心円の中心から周縁に向かうにつれて減少させられている。なお、図 8 A においては図面の明瞭化と簡略化のためにわずかに 2 つの透光リングが示されているが、実際にはさらに多くのリングが含まれ得ることは言うまで

5 もない。

図 7 B において、露光されたレジスト層 1 2 を現像して第 1 のレジストパターン 1 2 a が形成される。そして、その第 1 レジストパターン 1 2 a をマスクとして、矢印 1 4 b で表された反応性イオンエッチング (R I E) によって、所定深さの帯状溝リングが形成される。

10 図 7 C において、第 1 レジストパターン 1 2 a を除去することによって、バイナリレベル（光の位相を 2 段階に変調）のレリーフ型マイクロレンズ 1 1 a が得られる。なお、帯状溝リングの幅と深さは、2 レベルまたは多レベルのレリーフ型マイクロレンズのそれぞれに応じて最も良好な回折効率が得られるように設定される。

15 図 7 D から F は、図 7 A から C と同様な工程に続いて 4 レベルのレリーフ型マイクロレンズを作製する工程を図解している。

図 7 D において、図 7 C までと同様の工程で形成された Si 基板 1 1 a の上面にさらに第 2 のレジスト層 1 5 を形成し、第 2 のマスク 1 6 を介して紫外光 1 4 c を照射する。図 8 B は、この第 2 マスク 1 6 を模式的平面図で示している。図 20 8 A と B から分かるように、第 2 マスク 1 6 は第 1 マスク 1 3 に比べて 2 倍の本数の帯状透光リングを有している。換言すれば、第 2 マスクの帯状透光リングおよび帯状不透光リングは、第 1 マスクの帯状透光リングおよび帯状不透光リングに比べて約 1 / 2 の幅を有している。

図 7 E において、露光された第 2 レジスト層 1 5 を現像して同図に示されているような第 2 のレジストパターン 1 5 a が形成される。そして、その第 2 レジストパターン 1 5 a をマスクとして、矢印 1 4 d で表されている R I E によって、さらに所定深さまでのエッチングが行われる。

図 7 F において、第 2 レジストパターン 1 5 a を除去して、4 レベルの位相変化を生じ得るレリーフ型マイクロレンズ 1 1 b が得られる。なお、2 レベルの回

折型レンズに比べて、多レベルの回折型レンズでは高い回折効率が得られ、より高い集光効率が得られる。また、上述のようなフォトリソグラフィとR I Eの工程をN回繰り返すことによって、2Nレベルのレリーフ型マイクロレンズを作製することができる。ただし、理論上は無限数レベルの回折レンズで100%の回折効率が得されることになるが、作製工程数と費用が増大するので、実際上は95%の回折効率が得られる8レベルの回折型レンズで十分であろう（上述の工程をN=3回繰り返すことで作製可能）。

発明の開示

図6に図解されているようにガラス基板内のイオン交換によって形成される屈折型マイクロレンズアレイにおいては、そのイオン交換によって高められ得る屈折率変化 Δn は約0.17程度に過ぎない。したがって、そのような比較的小さな屈折率差に起因して、短い焦点距離のレンズを作製することが困難である。また、イオンの交換領域1bは等方的熱拡散によって形成されるので、そのレンズ領域1bは必ず概略半球状に形成され、レンズ厚さを変更して焦点距離を調節することも困難である。

回折型マイクロレンズに関しては、レリーフ型マイクロレンズでは、透光性基板にエッチングで溝を彫らなければならないので、その基板はそれなりの厚さを要する。また、エッチングによって彫る溝の深さを正確に調節することが容易ではない。さらに、レリーフ型マイクロレンズはその表面に微細な凹凸を有するので、埃や汚れが付着しやすいという問題もある。

他方、回折型マイクロレンズを屈折率変調型マイクロレンズとして作製することは困難である。なぜならば、前述のようにガラス板のイオン交換によって得られる屈折率変化は最大でも $\Delta n = 0.17$ 程度であって、効果的な屈折率変調型回折格子を形成することが困難だからである。また、例えば石英系ガラスに紫外光のようなエネルギービームを照射することによっても屈折率を高め得ることが知られているが、その場合の屈折率変化はイオン交換の場合に比べてさらに小さい（ $\Delta n = 0.01$ 以下程度）。

上述のような先行技術によるマイクロレンズにおける状況に鑑み、本発明は、

機械的かつ熱的に安定で種々の光学分野で利用可能な平板型マイクロレンズを簡便かつ低コストで提供することを目的としている。

本発明によれば、マイクロレンズは透光性DLC (diamond-like carbon: ダイヤモンド状カーボン) 膜を用いて形成されており、その DLC 膜は屈折率が変調させられた領域を含み、その屈折率が変調させられた領域を光束が通過するときに集光作用を生じることを特徴としている。

なお、そのマイクロレンズは屈折型マイクロレンズであり得て、その場合には、 DLC 膜の一主面側において相対的に高い屈折率を有する屈折型レンズ領域が形成されており、そのレンズ領域は DLC 膜のその一主面と概略球面の一部に相当する界面とに囲まれた凸レンズの形状を有するか、またはその一主面とその主面に対して平行な中心軸を有する概略円柱面の一部に相当する界面とに囲まれた柱状凸レンズの形状を有していてもよい。

また、レンズ領域は DLC 膜を貫通する概略円柱形状を有していてもよく、この場合には、円柱形状の中心軸は DLC 膜に直交していてその中心軸に近いほど屈折率が高められている。さらに、レンズ領域は DLC 膜を貫通する帯状領域であってもよく、この場合には、その帯状領域の幅方向の中央を通りかつ DLC 膜に直交する面に近いほど屈折率が高められている。

さらに、本発明のマイクロレンズは回折型マイクロレンズでもあり得て、その場合には、DLC 膜は同心円状の複数の帯状リング領域を含むことができ、それらの帯状リング領域は回折格子として作用するように屈折率が相対的に変調されており、それらの帯状リング領域の幅は同心円の中心から遠い帯状リング領域ほど狭められている。

同心円状の複数の帯状リング領域を含む回折型マイクロレンズにおいて、DLC 膜は同心円状の m 個のリングゾーンを含むことができ、それらのリングゾーンの各々は n 個の帯状リング領域を含み、リングゾーンの各々において内側の帯状リング領域は外側の帯状リング領域に比べて高い屈折率を有し、リングゾーンのそれぞれにおいて互いに対応する帯状リング領域は互いに同じ屈折率を有していることが好ましい。

また、本発明の回折型マイクロレンズにおいて、DLC 膜は互いに平行な複数

の帯状領域を含むこともでき、それらの帯状領域は回折格子として作用するよう
に屈折率が相対的に変調されており、それら帯状領域の幅は所定の帯状領域から
遠い帯状領域ほど狭められている。

互いに平行な複数の帯状領域を含む回折型マイクロレンズにおいて、DLC膜
5 は互いに平行なm個の帯ゾーンを含むことができ、それらの帯ゾーンの各々はn
個の帯状領域を含み、帯ゾーンの各々において所定の帯状領域に近い帯状領域は
遠い帯状領域に比べて高い屈折率を有し、帯ゾーンのそれぞれにおいて互いに対
応する帯状領域は互いに同じ屈折率を有していることが好ましい。

上述のような本発明によるマイクロレンズは、0.4 μmから2.0 μmの範
10 囲内の波長を含む光に対してレンズ作用を發揮し得る。したがって、本発明によ
るマイクロレンズは、光通信分野やプロジェクタのように広い光学分野で利用可
能である。

本発明によるマイクロレンズを作製する場合に、DLC膜はプラズマCVD(化
学気相堆積)で形成されることが好ましい。このプラズマCVDによれば、比較
15 的低温において、シリコン基板、ガラス基板、ポリマ基板、その他の種々の基体
上に透光性DLC膜を形成することができる。

DLC膜中において相対的に高い屈折率を有する領域は、そのDLC膜にエネル
ギビームを照射して屈折率を高めることによって簡便に形成され得る。そして、
そのエネルギーをビーム照射として、紫外線(UV)、X線、シンクロトロン放射(S
20 R)光、イオンビーム、電子ビームなどを用いることができる。また、一つのD
LC膜中にアレイ状に配列された複数のマイクロレンズが、同時のエネルギー
ビーム照射によって簡便に形成され得る。

図面の簡単な説明

25 図1は、本発明の実施形態における屈折型マイクロレンズアレイの作製方法を
図解する模式的な断面図である。

図2は、図1の屈折型マイクロレンズアレイの作製方法において使用し得る刻
印型の形成方法を図解する模式的な断面図である。

図3Aは、本発明の他の実施形態による回折型マイクロレンズを図解する模式

的な平面図であり、図3Bはそれに対応する断面図である。

図4は、図3の回折型マイクロレンズの作製方法の一例を図解する模式的な断面図である。

図5Aは従来の屈折型マイクロレンズアレイを示す模式的な一部破断斜視図で
5 あり、図5Bはその機能を図解する模式的な断面図である。

図6は、図5の屈折型マイクロレンズアレイの作製方法を図解する模式的断面
図である。

図7は、従来のレリーフ型の回折型マイクロレンズの作製方法を図解する模式
的な断面図である。

10 図8は、図7のレリーフ型マイクロレンズの作製方法に使用されるマスクを示
す模式的な平面図である。

発明を実施するための最良の形態

まず、本願発明をなすに際して、本発明者らは、透光性DLC (diamond like
15 carbon:ダイヤモンド状カーボン)膜にエネルギーbeamを照射することによってそ
の屈折率を高めることができることを確認している。そのようなDLC膜は、シリコ
ン基板、ガラス基板、その他の種々の基体上にプラズマCVD (化学気相堆
積)によって形成することができる。そのようなプラズマCVDによって得られ
る透光性DLC膜は、通常は1.55程度の屈折率を有している。

20 DLC膜の屈折率を高めるためのエネルギーbeamとしては、紫外線(UV)、
X線、シンクロトロン放射(SR)光、イオンビーム、電子ビームなどを用いる
ことができる。なお、SR光は、一般に紫外光からX線までの広い波長範囲の電
磁波を含んでいる。

たとえば、Heイオンを800keVの加速電圧の下で $5 \times 10^{17} / cm^2$ のド
25 ース量で注入することによって、屈折率変化量を $\Delta n = 0.65$ 程度まで高め
ることができる。なお、H、Li、B、Cなどのイオンの注入によつても、同様に
屈折率を高めることができる。また、0.1~130nmのスペクトルを有する
SR光を照射することによつても、屈折率変化量を最大で $\Delta n = 0.65$ 程度ま
で高めることができる。さらに、UV光照射では、たとえば波長248nmのK

r F エキシマレーザ光をパルス当たり 160 mW/mm^2 の照射密度にて 100 Hz の周期でパルス照射すれば、屈折率変化量を $\Delta n = 0.22$ 程度まで高めることができる。なお、ArF (193 nm)、XeCl (308 nm)、XeF (351 nm) などのエキシマレーザ光や Ar レーザ光 (488 nm) の照射によつても、同様に屈折率を高めることができる。これらのDLC 膜のエネルギービーム照射による屈折率変化量は、従来のガラスのイオン交換による屈折率変化量（最大でも $\Delta n = 0.17$ ）または石英系ガラスのUV 光照射による屈折率変化量 ($\Delta n = 0.01$ 以下程度) に比べて顕著に大きいことが分かる。

図 1において、本発明の一実施形態による屈折型マイクロレンズアレイの作製方法が、模式的な断面図で図解されている。

図 1 Aにおいて、DLC 膜 21 上にマスク層 22 が形成されている。マスク層 22 としては、エネルギービーム 23 の透過を制限し得る機能を有する種々の材料を用いることができる。たとえば、マスク層に対するエネルギービームの透過量の設計に応じて最適化されるように、金、クロム、ニッケル、アルミ、タンゲステンなどから選択することができる。このマスク層 22 はアレイ状に配列された微小な凹部 22a を有している。それらの凹部 22a の各々は、概略球面の一部または概略円柱面（この円柱面の中心軸は図の紙面に直交）の一部からなる底面を有している。それらの凹部 22a のアレイを含むマスク層 22 を介して、エネルギービーム 23 が DLC 膜 21 に照射される。

図 1 Bにおいて、エネルギービーム 23 の照射後にマスク層 22 を除去することによって、DLC 膜 21 中に形成されたマイクロレンズアレイ 21a が得られる。すなわち、エネルギービーム 23 の照射によって、マスク層 22 の凹部 22a のアレイに対応して、DLC 膜 21 内において高屈折率領域 21a のアレイが形成されている。このとき、マスク層 22 の凹部 22a は球面状または円柱面状の底面を有しているので、凹部 21a の中央から周縁に向かうにしたがってマスク層の厚さが増大している。すなわち、エネルギービーム 23 は、凹部 22a の周縁部に比べて中央部において透過しやすくなる。したがって、高屈折率領域 21a の深さは、その中央部において深くて周縁部において浅い球面状凸レンズまたは円柱面状凸レンズの形状を有している。その結果、それらの高屈折率領域 21

a の各々が、そのまま一つのマイクロレンズとして作用し得る。

なお、図 1 に示されているようなエネルギービーム 2 3 によってマイクロレンズアレイを作製する場合、概略球面状または概略円柱面状の凹部 2 2 a の深さを調節することによって、マイクロレンズ 2 1 a の厚さを調節することができ、すなわちその焦点距離を調節することができる。また、凹部 2 2 a の深さを変化させなくても、照射するエネルギービーム 2 3 の透過能を変化させることによってもマイクロレンズ 2 1 a の焦点距離を調節することができる。たとえば、エネルギービーム 2 3 として He イオンビームを用いる場合、そのイオンの加速エネルギーを高めて透過能を高めることによって、マイクロレンズ 2 1 a の焦点距離を短くすることができる。また、DLC 膜に対するエネルギービーム 2 3 のドース量が高いほど屈折率変化 Δn が大きくなるので、そのドース量を調節することによってもマイクロレンズ 2 1 a の焦点距離を調節することも可能である。

図 1 C は、他の形態のマイクロレンズアレイを模式的な断面図で示している。このマイクロレンズ 2 1 b は、DLC 膜 2 1 を貫通する円柱状または帯状領域を有している。マイクロレンズ 2 1 b が円柱状である場合、その中心軸 2 1 c は DLC 膜 2 1 の厚さ方向に平行であり、中心軸 2 1 c に近いほど屈折率が高くされている。マイクロレンズ 2 1 b が帯状である場合、その幅方向の中心を通る中心面（図の紙面に直交） 2 1 c は DLC 膜 2 1 の厚さ方向に平行であり、中心面 2 1 c に近いほど屈折率が高くされている。

図 1 C のマイクロレンズアレイも、図 1 A に類似の方法によって形成され得る。すなわち、マスク層 2 2 の薄い領域および DLC 膜 2 1 を貫通し得る高いエネルギーのビーム 2 3 を照射することによって、中心線または中心面 2 1 c に近い領域ほど高いドース量でそのエネルギーが照射されることになって屈折率がより高められることになる。

図 1 A に示されているような概略球面状または概略円柱面状の底面を有する凹部 2 2 a を含むマスク層 2 2 は、種々の方法によって作製することができる。たとえば、DLC 膜 2 1 上に均一な厚さのマスク層 2 2 を形成し、その上にアレイ状に配列された微小な穴または平行に配列された線状の開口を有するレジスト層を形成する。そして、そのレジスト層の微小な穴または線状の開口から等方的エ

ッチングを行うことによって、その微小な穴の下のマスク層22内に概略半球状または概略半円柱状の凹部22aを形成することができる。

図1Aに示されているような概略球面状または概略円柱面状の底面を有する凹部22aを含むマスク層22は、図2の模式的な断面図に図解されているような方法で作製され得る刻印型を用いて簡便に作製することもできる。
5

図2Aにおいて、例えばシリカの基板31上にレジストパターン32が形成される。このレジストパターン32は、基板31上でアレイ状に配列された複数の微小な円形領域上または平行に配列された複数の細い帯状領域上に形成されている。

10 図2Bにおいて、レジストパターン32が加熱溶融させられ、各微小円形領域上または細い帯状領域上で溶融したレジスト32は、その表面張力によって概略球面状または概略円柱面状の凸レンズ形状のレジスト32aになる。

15 図2Cにおいて、概略凸レンズ状のレジスト32bとともにシリカ基板31aをRIEすれば、レジスト32bの径または幅がRIEで縮小しながらシリカ基板31aがエッチングされる。

その結果、図2Dに示されているように、概略球面状または概略円柱面状の凸部31bが配列されたシリカの刻印型31cが最終的に得られる。なお、凸部31bの高さは、図2Cにおけるレジスト32bのエッチング速度とシリカ基板31aのエッチング速度との比率を調節することによって調節することができる。

20 こうして得られた刻印型31cは、図1Aに示されているような凹部22aを含むマスク層22の作製に好ましく用いられ得る。すなわち、例えばマスク層22が金材料で形成されている場合、金は展延性に富んでいるので、その金マスク層22に刻印型31cで刻印することによって、簡便に凹部22aを形成することができる。また、刻印型31cは一度作製すれば繰り返し使用可能であるので、
25 エッチングによってマスク層22中の凹部22aを形成する場合に比べて遥かに簡便かつ低コストで凹部22aを形成することを可能にする。

なお、本発明におけるようにDLC膜を用いた屈折型マイクロレンズアレイは、従来のガラス基板を用いる場合にくらべて、エネルギービーム照射によって高屈折率のレンズを形成することができるので、ガラス基板に比べて遥かに薄いDLC

膜中に屈折型マイクロレンズアレイを形成することができる。しかし、DLC膜を用いた屈折型マイクロレンズであっても、次に述べる回折型マイクロレンズに比べれば厚いDLC膜を要し、 $10 \mu\text{m}$ から $20 \mu\text{m}$ 程度以上の厚さを要する。

- 図3Aの模式的な平面図と図3Bの模式的な断面図において、本発明の他の実施形態による回折型マイクロレンズが図解されている。回折型マイクロレンズは屈折型マイクロレンズに比べて薄く作製することが可能であり、 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度の厚さのDLC薄膜中に回折型マイクロレンズを作製することができる。すなわち、この回折型マイクロレンズ40も、DLC膜41を用いて作製されており、同心円状の複数の帯状リング領域 R_{mn} を含んでいる。ここで、符号 R_{mn} は、
10 第m番目のリングゾーン中の第n番目の帯状リング領域を表すとともに、同心円の中心からその帯状リング領域の外周までの半径をも表すものとする。それらの帯状リング領域 R_{mn} は、同心円の中心から遠いものほど、減少させられた幅を有している。

- 互いに隣接する帯状リング領域 R_{mn} は、互いに異なる屈折率を有している。
15 図3の回折型マイクロレンズは、それが2レベルの回折型レンズである場合には、 $n = 2$ 番目までの帯状リング領域を含むリングゾーンを $m = 3$ 番目まで含んでいくことになる。そして、同じリングゾーン中では、外側に比べて内側の帯状リング領域の方が高い屈折率を有している。

- このことから類推されるであろうように、4レベルの回折型レンズでは、一つのリングゾーンが $n = 4$ 番目までの帯状リング領域を含み、この場合にも同じリングゾーン中では同心円の中心に近い帯状リング領域ほど高い屈折率を有している。すなわち、一つのリングゾーン中で内周側から外周側に向かって4段階の屈折率変化が形成されている。そして、そのような4段階の屈折率変化の周期がリングゾーンごとにm回繰り返されることになる。

- 25 なお、帯状リング領域 R_{mn} の外周半径は、スカラー近似を含む回折理論から次式(1)にしたがって設定することができる。この式(1)において、Lはレンズの回折レベルを表し、 λ は光の波長を表し、そしてfはレンズの焦点距離を表している。また、最大の屈折率変化量 Δn は、最大の位相変調振幅 $\Delta \phi = 2\pi(L-1)/L$ を生じさせ得るものでなければならない。

数1

$$R_{mn} = \sqrt{\frac{2mnf\lambda}{L} + \left(\frac{mn\lambda}{L}\right)^2} \quad (1)$$

図4の模式的な断面図において、図3に示されているような2レベルの回折型マイクロレンズの作製方法の一例が図解されている。

- 5 図4Aにおいて、DLC膜41上に、例えばNiの導電層42が周知のEB(電子ビーム)蒸着法によって形成される。このNi導電層42上には図3中のn=1に対応する帯状リング領域R_{mn}(m=1~3)を覆うようにレジストパターン43が形成される。そのレジストパターン43の開口部に、電気めっきによって金マスク44が形成される。
- 10 図4Bにおいて、レジストパターン43が除去されて、金マスク44が残される。そして、その金マスク44の開口部を通して、エネルギービーム45がDLC膜41に照射される。その結果、エネルギービーム45に照射された帯状リング領域R_{m1}(図中で41a)の屈折率が高められ、エネルギービーム45がマスクされた帯状リング領域R_{m2}(図中で41b)は当初のDLC膜の屈折率を維持している。すなわち、図3に示されているような2レベルの回折型マイクロレンズが得られる。なお、エネルギービーム照射後の金マスクは、シアン系のエッチング液に室温で数分程度浸漬することによって溶解されて除去される。
- 15

なお、図4の例ではDLC膜ごとにその上にマスク層が形成されるが、図8Aに示されているような独立のマスクの開口部と遮蔽部とを逆にしたマスクを用いてDLC膜にエネルギービーム照射してもよい。また、図8Bに示されているような独立のマスクの開口部と遮蔽部とを逆にしたマスクを用いてDLC膜にさらにエネルギービーム照射することによって、4レベルの回折型マイクロレンズが形成され得ることが理解されよう。この場合に、DLC膜にエネルギービーム照射して回折型マイクロレンズを形成する方法は、図7に図解されたレリーフ型マイクロレンズの作製方法にくらべて、顕著に簡略であることも理解されよう。

さらに、図2Dに示されているような刻印型の代わりに、図7Fに示めされているような形状を有する刻印型を用いてDLC膜上の金マスク層に刻印し、その

刻印された金マスク層を介してエネルギーbeam照射することによって、一回のエネルギーbeam照射で多レベルの回折型マイクロレンズを作製することも可能である。

さらにまた、回折型マイクロレンズに関する上述の実施形態では屈折型レンズの球面状凸レンズに対応する回折型マイクロレンズが説明されたが、本発明は屈折型レンズの柱面状凸レンズに対応する回折型マイクロレンズにも同様に適用し得ることが理解されよう。その場合には、屈折率変調された同心円状の複数の帯状リング領域の代わりに、屈折率変調された互いに平行な複数の帯状領域を形成すればよい。この場合、例えば図3Bの断面図において、屈折率変調された互いに平行な複数の帯状領域は、その図の紙面に対して垂直に伸びていることになる。また、その場合において、図4B中の金マスク44もその図の紙面に対して垂直に伸びていればよい。

産業上の利用可能性

本発明によれば、機械的かつ熱的に安定で種々の光学分野で利用可能な平板型マイクロレンズを簡便かつ低コストで提供することができる。また、本発明による回折型マイクロレンズは屈折率変調型であって、従来のレリーフ型マイクロレンズと異なって平坦な表面を有しているので、反射防止コーティングを容易に形成することができ、また埃などにつきにくくてレンズ機能の低下が防止され得る。

さらに、DLC膜は種々の基体表面上に形成し得るので、本発明のマイクロレンズは他の光学部品と一体形成することが可能である。

請求の範囲

1. マイクロレンズであって、前記マイクロレンズは透光性DLC膜を用いて形成されており、前記DLC膜は屈折率が変調させられた領域を含み、前記屈折率が変調させられた領域を光束が通過するときに集光作用を生じることを特徴とする平板型マイクロレンズ。
5
2. 前記DLC膜の一主面側において相対的に高い屈折率を有する屈折型レンズ領域が形成されており、前記レンズ領域は前記一主面と概略球面の一部に相当する界面とに囲まれた凸レンズの形状を有していることを特徴とする請求項1に記載の平板型マイクロレンズ。
10
3. 前記DLC膜の一主面側において各前記マイクロレンズに対応して相対的に高い屈折率を有する屈折型レンズ領域が形成されており、前記レンズ領域は前記一主面とその主面に対して平行な中心軸を有する概略円柱面の一部に相当する界面とに囲まれた柱状凸レンズの形状を有していることを特徴とする請求項1に記載の平板型マイクロレンズ。
15
4. 前記DLC膜には各前記マイクロレンズに対応して相対的に高い屈折率を有する屈折型レンズ領域が形成されており、前記レンズ領域は前記DLC膜を貫通する概略円柱形状を有していて、前記円柱形状の中心軸は前記DLC膜に直交していてその中心軸に近いほど屈折率が高められていることを特徴とする請求項1
20に記載の平板型マイクロレンズ。
5. 前記DLC膜には各前記マイクロレンズに対応して相対的に高い屈折率を有する屈折型レンズ領域が形成されており、前記レンズ領域は前記DLC膜を貫通する帯状領域であって、前記帯状領域の幅方向の中央を通りかつ前記DLC膜に直交する面に近いほど屈折率が高められていることを特徴とする請求項1に記載の平板型マイクロレンズ。
25
6. 前記DLC膜は同心円状の複数の帯状リング領域を含み、それらの帯状リング領域は回折格子として作用するように屈折率が相対的に変調されており、前記帯状リング領域の幅は前記同心円の中心から遠いリング領域ほど狭められていることを特徴とする請求項1に記載の平板型マイクロレンズ。

7. 前記DLC膜は同心円状のm個のリングゾーンを含み、前記リングゾーンの各々はn個の前記帯状リング領域を含み、前記リングゾーンの各々において内側の帯状リング領域は外側の帯状リング領域に比べて高い屈折率を有し、前記リングゾーンのそれぞれにおいて互いに対応する帯状リング領域は互いに同じ屈折率を有していることを特徴とする請求項6に記載の平板型マイクロレンズ。
8. 前記DLC膜は互いに平行な複数の帯状領域を含み、それらの帯状領域は回折格子として作用するように屈折率が相対的に変調されており、前記帯状領域の幅は所定の帯状領域から遠い帯状領域ほど狭められていることを特徴とする請求項1に記載の平板型マイクロレンズ。
9. 前記DLC膜は互いに平行なm個の帯ゾーンを含み、前記帯ゾーンの各々はn個の前記帯状領域を含み、前記帯ゾーンの各々において前記所定の帯状領域に近い帯状領域は遠い帯状領域に比べて高い屈折率を有し、前記帯ゾーンのそれぞれにおいて互いに対応する帯状領域は互いに同じ屈折率を有していることを特徴とする請求項8に記載の平板型マイクロレンズ。
10. 前記マイクロレンズは0.4μmから2.0μmの範囲内の波長を含む光に対してレンズ作用を発揮し得ることを特徴とする請求項1から9のいずれかに記載の平板型マイクロレンズ。
11. 請求項1から10のいずれかに記載された平板型マイクロレンズを製造するための方法であって、前記DLC膜はプラズマCVDで形成されることを特徴とする製造方法。
12. 前記DLC膜中において相対的に高い屈折率を有する領域は、そのDLC膜にエネルギービームを照射して屈折率を高めることによって形成されることを特徴とする請求項11に記載の製造方法。
13. 前記エネルギービーム照射として、紫外線照射、X線照射、シンクロトロン放射光照射、イオンビーム照射、および電子線照射の少なくともいずれかが選択されることを特徴とする請求項12に記載の製造方法。
14. 一つのDLC膜中にアレイ状に配列された複数のマイクロレンズを同時のエネルギービーム照射によって形成することを特徴とする請求項12または13に記載の製造方法。

1 / 7

FIG. 1A

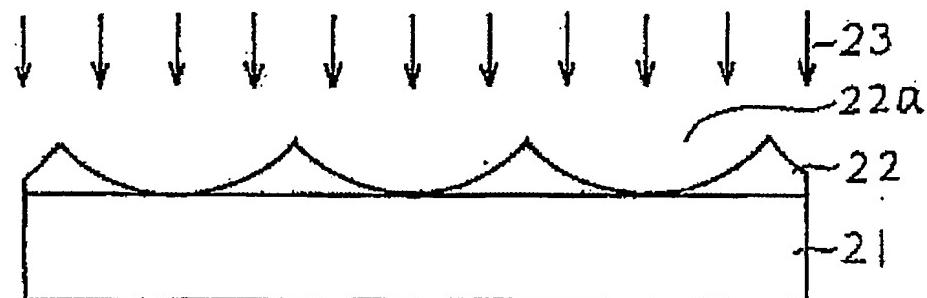
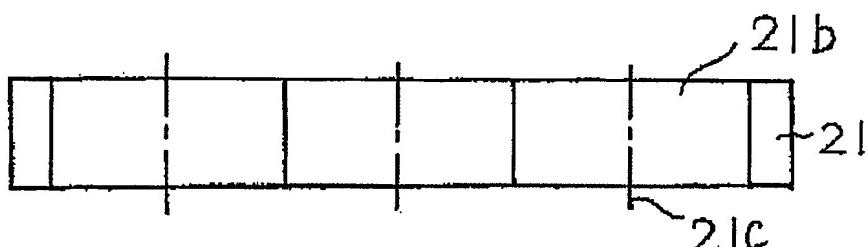


FIG. 1B



FIG. 1C



2 / 7

FIG. 2A

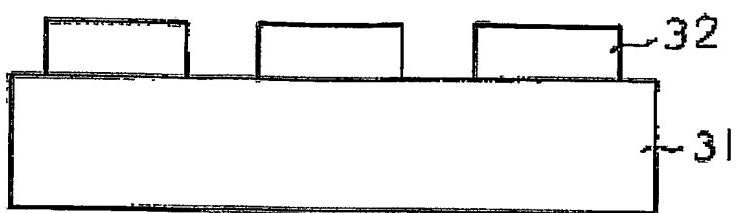


FIG. 2B

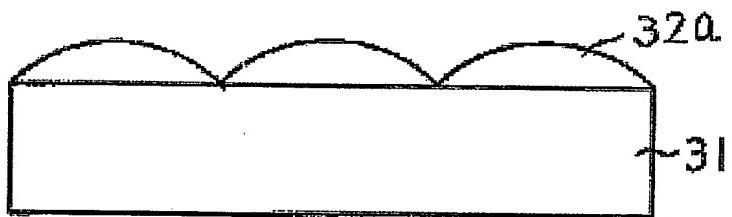


FIG. 2C

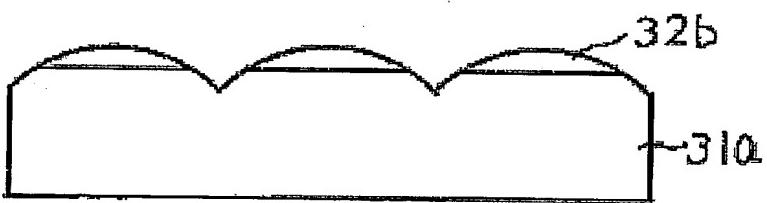


FIG. 2D



FIG. 3B

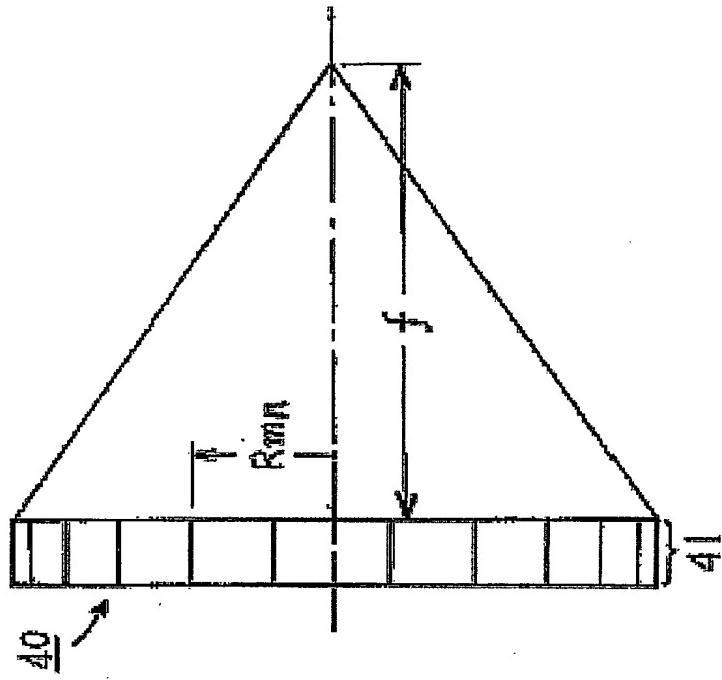
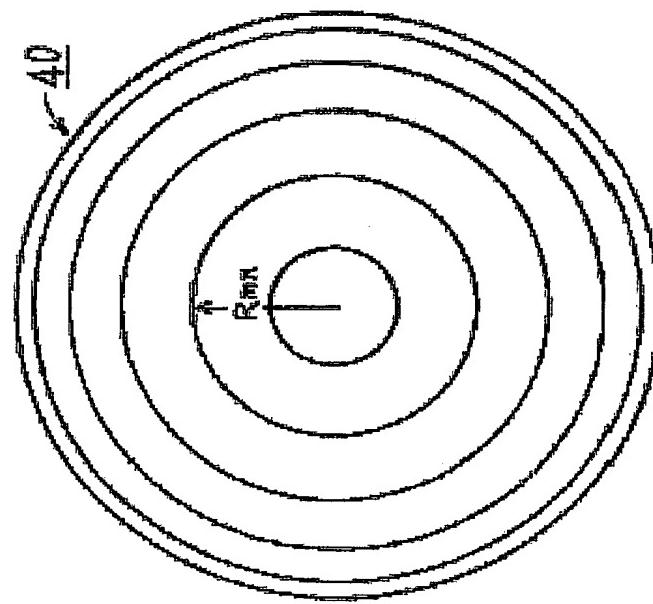


FIG. 3A



4 / 7

FIG. 4A

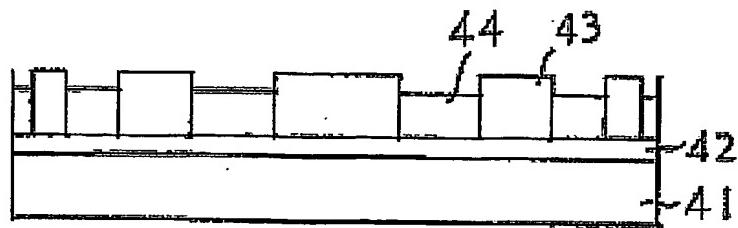


FIG. 4B

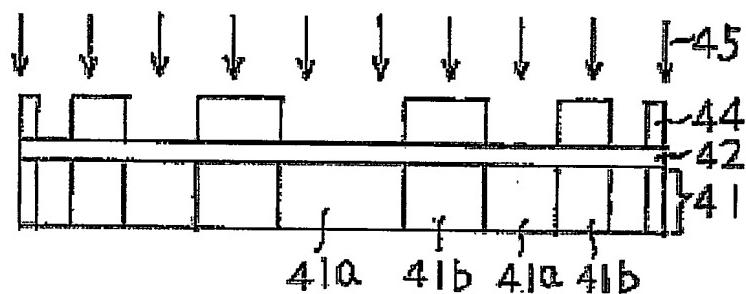


FIG. 5A

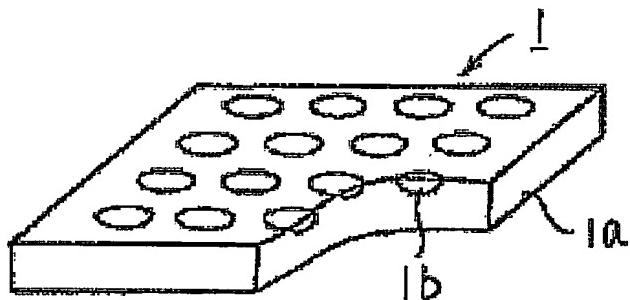
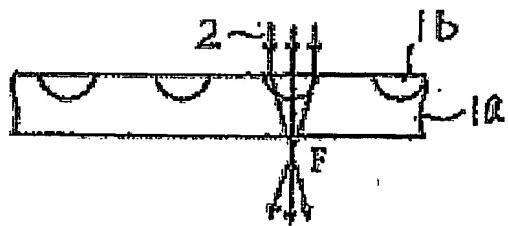


FIG. 5B



5 / 7

FIG. 6A



FIG. 6B

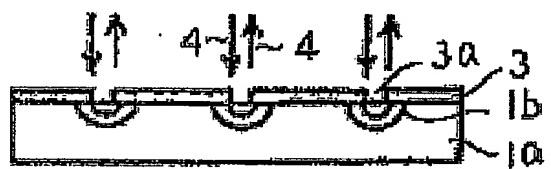
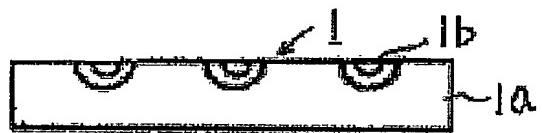


FIG. 6C



6 / 7

FIG. 7A

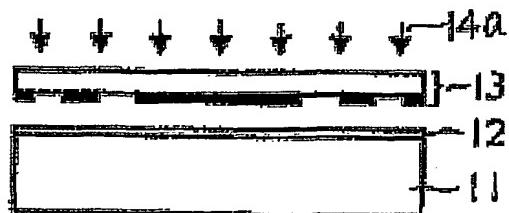


FIG. 7B

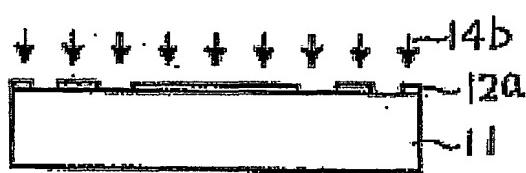


FIG. 7C



FIG. 7D

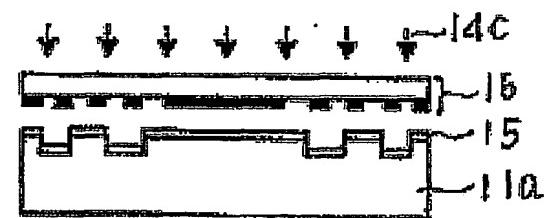


FIG. 7E

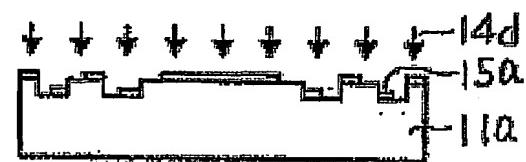


FIG. 7F

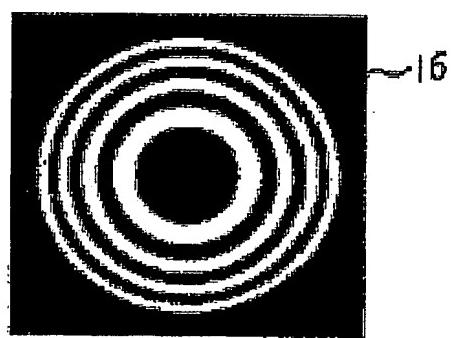


7 / 7

FIG. 8A



FIG. 8B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017672

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 Int.Cl⁷ G02B3/00, G02B3/08, G02B5/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 Int.Cl⁷ G02B3/00, G02B3/08, G02B5/18

 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-75105 A (Nitto Denko Corp.), 18 March, 1994 (18.03.94), Full text; all drawings (Family: none)	1-14
Y	JP 2003-248193 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 05 September, 2003 (05.09.03), Full text; all drawings & US 2003/0117706 A1 & EP 1326127 A3	1-14

 Further documents are listed in the continuation of Box C.

 See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E"	earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&"	document member of the same patent family

 Date of the actual completion of the international search
 04 February, 2005 (04.02.05)

 Date of mailing of the international search report
 01 March, 2005 (01.03.05)

 Name and mailing address of the ISA/
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. C17 G02B3/00, G02B3/08, G02B5/18

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. C17 G02B3/00, G02B3/08, G02B5/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 6-75105 A (日東電工株式会社) 1994. 03. 18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-14
Y	JP 2003-248193 A (住友電気工業株式会社) 2003. 09. 05, 全文, 全図 & US 2003/0117706 A1 & EP 1326127 A3	1-14

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04. 02. 2005

国際調査報告の発送日

01. 3. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

山村 浩

2V 9219

電話番号 03-3581-1101 内線 3271